

利用铁矿尾矿制备蒸压灰砂砖试验研究

张丹萍, 郭倩, 郭巨杰

(中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029)

摘要:在铁矿尾矿的性质分析及现有成熟的工艺技术的基础上,利用迁安某铁矿选厂尾矿为主要原料,添加生石灰、缓凝剂、调节剂,按不同配比进行条件试验。在水固比0.09,铁矿尾矿:生石灰:缓凝剂:调节剂=80:8:3:9,成形压强25 MPa,蒸汽压强1.3 MPa,升温150 min,恒温360 min,降温120 min条件下制得平均抗压强度26.4 MPa、平均抗折强度5.3 MPa的蒸压灰砂砖,符合GB 11945-2006《蒸压灰砂砖》MU25技术指标的标准,实现铁矿尾矿的综合利用,并增加企业经济效益及社会效益。

关键词:铁矿;尾矿;蒸压灰砂砖

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2017.03.019

中图分类号:TD982 文献标志码:A 文章编号:1000-6532(2017)03-0095-04

铁矿的生产和建设是钢铁工业发展的基础,但在开发自然铁矿资源同时产生出大量废石及尾矿,不仅占用土地资源,还易成为环境灾害隐患。经过统计,唐山地区铁矿尾矿堆存量约为4.58亿 m^3 ,其中迁安市铁矿尾矿堆存量最大,约占唐山市总量的73%,而其尾矿处理途径到目前为止依旧是耗巨资输送及建库堆放^[1]。因此,实现尾矿资源综合利用将是铁矿选厂提高经济效益重要途径之一。

蒸压灰砂砖技术在我国发展较早,在1913年就被引入中国,自1970年开始建设了北京市硅酸盐制品厂等10多个企业后,在国家建材主管部门大力提倡发展新型墙体材料及地方政府大力支持下,蒸压灰砂砖企业数量增长迅速,至1988年全国有大、中、小型蒸压灰砂砖生产线345条。但随后因自然砂资源枯竭,蒸压灰砂砖发展较好的只有湖北、广东、江苏、内蒙、青海等省^[2]。经过近年自动化应用技术的普及,生产蒸压砖的设备不断完善,蒸压灰砂砖生产技术已日益成熟,我国自主研发的蒸压砖生产线达到和超过了世界先进水平^[3]。

本文在对迁安地区某铁矿选厂尾矿各项技术分析基础上,掺配适量钙质胶凝材料,成功制备出符合建材使用标准的蒸压灰砂砖。

1 试验部分

1.1 试验主要原料

经显微镜鉴定,迁安地区某铁矿选厂尾矿主要矿物为石英、辉石、钾长石,次要矿物为黑云母、角闪石、方解石,含少量磁铁矿、赤铁矿和黄铁矿。其中石英是该试验利用的硅质成分,其他成分属无用填料。

该选厂尾矿各项指标分析结果为:

(1)粒度分析,分析结果见表1。在制备蒸压砖时,一般要求原料最大粒径不超过10 mm,且5~10 mm含量不超过15%, -0.15 mm 含量应小于30%^[4-5]。表1粒度分析结果显示 $+1.4\text{ mm}$ 粒级含量为1.15%,显然5~10 mm含量不超过15%; -0.15 mm 粒级含量为26.77%小于30%,基本符合蒸压灰砂砖原料粒级要求。另外, -0.30 mm 粒级含量为55.27%, -0.85 mm 粒级含量为97.18%,原料粒径略偏细,故原料有较大的比表面积,有利于其硅质成分在蒸压过程中与氢氧化钙充分反应。

表1 铁矿尾矿的粒度分析结果

Table 1 Grain size statistics results of iron tailings

粒级/mm	+1.40	-1.40	-0.85	-0.30	-0.15
百分量/%	1.15	98.85	97.18	55.27	26.77

(2)化学成分分析,分析结果见表2。蒸压硅酸盐建筑制品对砂的技术要求为: $\text{SiO}_2>65\%$,云母<

收稿日期:2016-11-23;改回日期:2016-12-23

作者简介:张丹萍(1989-),女,实验师,硕士,主要从事矿物分选工作。

1%, $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}<5\%$, $\text{SO}_3<2\%$ [4]。表2 化学成分分析结果显示, SiO_2 含量 72.54% 大于 65%, $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ 含量 3.09% 小于 5%, SO_3 含量 0.2% 小于 2%, 且该尾矿烧失量较少为 2.73%, 说明有机物质含量较少, 对建筑材料制备非常有利。

表2 原料化学分析结果/%

Table 2 Chemical analysis results of the raw materials

SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	K_2O	Na_2O	CaO
72.54	7.37	7.27	0.19	2.11	0.98	2.78
MgO	SO_3	P_2O_5	MnO	ZrO_2	BaO	烧失量
3.59	0.2	0.09	0.08	0.02	0.03	2.73

(3) 光谱分析, 据资料表明, 原子序数在 84 以上的元素都具有放射性, 原子序数在 83 以下的某些元素如 K、Rb 等也具有放射性。由表3 多元素光谱分析结果可知, 该尾矿无明显有害的放射性元素, 较为安全, 可用于生产建材。

(4) 含水率、泥含量。经检测, 该尾矿含水率 6.15%, 泥含量检测结果为 4.08%, 符合硅酸盐建筑制品用砂含水率 $<8\%$, 泥含量 $<8\%$ 的标准要求。

试验主要原料之一生石灰的有效 CaO 含量经检测为 75.39%, 消解时间约 4 min, 消解温度约 79℃。

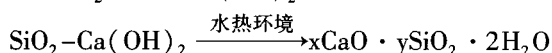
1.2 试验仪器

试验主要设备: Axios advanced X 射线荧光光谱仪; WAW-600G 天辰万能试验机; TSY-2000 电液压力试验机; HF1100 全自动液压墙体转压砖机。

1.3 试验原理

在常温条件下养护时, 各原料之间的反应速度慢, 生成结晶很差的水化硅酸钙 (CSH), 该水化产物强度低; 而在压力 1.3 MPa, 温度 192℃ 的蒸压条件下养护时, 易生成高强度、稳定性好的水石榴子石、托勃莫来石、硬硅钙石等水化产物 [6]。

本文以富含二氧化硅的铁矿尾矿为硅质材料, 以生石灰为主要钙质材料, 添加适量的缓凝剂和调节剂, 在蒸压条件下养护, 化学反应后生产出具有较高强度的蒸压灰砂砖, 主要反应有:



反应中产生的水化硅酸钙为包括水石榴子石、托勃莫来石在内的系列多种组分的水化产物。

1.4 试验方法

水固比以 0.09 为基础, 将铁矿尾矿、生石灰、缓凝剂、调节剂按表3 比例分别计量配置试样。

表3 试样配比

Table 3 Sample ratio

物料名称	1	2	3
铁矿尾矿	70%	75%	80%
生石灰	18%	13%	8%
缓凝剂	3%	3%	3%
调节剂	9%	9%	9%

经充分搅拌混合后堆积消化, 生石灰总消化时间约 5 h。消化完全后添加适当比例调节剂二次混料, 增加其塑性。压制砖坯试块完成后, 将全部试样在同一釜内同时进行蒸压养护。蒸压养护条件为工业生产条件, 即升温时间 150 min, 恒温时间 360 min, 釜内恒温压强 1.3 MPa, 降温时间 120 min。完成蒸压养护后放置 24 h 进行检测。再取最优配比方案在年产蒸压砖 5000 万块的生产线进行工业化试生产试验。试验流程见图1。

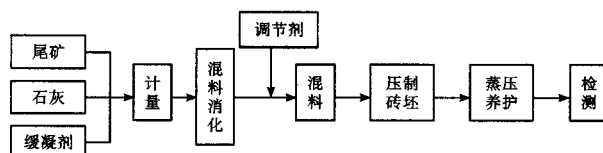


图1 铁矿尾矿制备蒸压灰砂砖试验流程

Fig.1 Test flow chart of autoclaved sand-lime brick prepared by iron tailings

2 分析及讨论

2.1 试验关键因素控制

影响蒸压灰砂砖因素众多, 根据工艺流程分为原料因素、混料消化、压制机制及蒸压机制四大类。关键因素主要有原料比、水固比、粒级组成、消化充分、压制砖坯压强、蒸压压强及时间等。

(1) 原料因素

因制备蒸压灰砂砖的基本原理就是砂中活性 SiO_2 同胶凝材料中的有效 CaO 在高温蒸汽养护而成硅酸盐制品, 因此保持合适的原料比例有利于反应充分。单方面原料富余都会对蒸压砖的强度形成折扣。原理上, C/S 比在 2:3 ~ 1:1 之间, 在合适的高温蒸汽养护条件下易形成水石榴子石、托勃莫来石、硬硅钙石等高强度、稳定性好的水化产物 [7]。实际则需要根据尾砂的活性 SiO_2 含量及生石灰有效 CaO 含量进行调节。一般高硅尾矿渣蒸压砖的配比为: 尾矿渣 60% ~ 78%, 胶凝材料 12% ~ 15%, 激发材料 2% ~ 3% [8]。尾矿中若活性 SiO_2 不足则可添加粉煤灰、甚至天然黄砂进行调节。

当水固比过高, 易使砖坯内形成空隙, 降低砖的

强度;水固比过低,则水热反应不完全,仅生成少部分胶凝性矿物,从而导致试块强度较低^[9]。本次试验水固比定为0.09。

尾矿的粒级组成也对蒸压砖的强度有影响。粒级分配合适,可使砖体中物料密实度增高,反应充分后,可大大增加砖体强度,并减少产品收缩。一般而言,蒸压砖中要求骨料最好不要有超过8 mm的粒径,因为大粒级(粒径8 mm以上)含量过高,既影响砖的初始密实度,还会因其分布的不均匀导致砖出现弱面^[10]。根据本次试验原料铁矿尾矿粒级特性,添加质量占比5%的1.4~8 mm粒级的铁矿尾矿碎石作为蒸压砖粗骨料,以保证蒸压灰砂砖的强度。

(2) 混料消化

反应中活性CaO主要来自生石灰,生石灰直接遇水反应较快,需添加少量比例的缓凝剂减缓消化反应速度,同时,可使消化生成的Ca(OH)₂在搅拌过程中充分同尾矿砂中SiO₂接触,有利于后续工序中水化反应完全。消化时间过长则会影响产量。为充分反应,消化时间选为5 h。

(3) 压制机制

成型压力是决定制品强度的关键因素之一,成型压力越大压制的砖坯密实度越高,物料之间结合越紧密,减少了制品的层裂现象,有利于物料的水热合成,制品的性能就越好。当然,成型压力过高,不仅对压砖机有害,脱模困难,还易造成砖密度过大,不利产品运用。因此成型压强在20~25 MPa即可^[5,11]。

(4) 蒸压机制

不同的养护制度对制品的强度影响较大。一般情况下,压力越高,制品的强度就越高,在一定压力养护制度下,养护时间越长其制品强度就越高,水化产物就越多,并会达到峰值,再延长时间,反而导致强度下降^[12]。因此,本次试验蒸压机制为升温时间150 min,恒温时间360 min,釜内恒温压强1.3 MPa,降温时间120 min。

2.2 蒸压灰砂砖检测及分析

蒸压灰砂砖的技术要求见表4^[13]。试块抗压测试试验检测数据见表5。由表5中可得出序号1~3的试块抗压强度分别符合GB11945-1999的MU10、MU15、MU20等级,且普通红砖的抗压等级一般为MU15,即序号2、3的试块配比生产出来的蒸压灰砂砖符合可用于基础及其他建筑用砖的抗压等级。因序号3的试块性能较优,故选取序号3的原料比例进行工业试验试生产蒸压灰砂砖,试品成品尺寸为240 mm×115 mm×53 mm,主要强度指数检测结果见表6。

由表6分析,铁矿尾矿制备蒸压灰砂砖不仅技术成熟,而且产品抗压指标优异。此次工业试验同实验室试块试验数据相比,获得较好检测结果原因主要为压砖机的压力同试验用试块压机压力差异造成,HF1100全自动液压墙体转压砖机压力为1100千吨,最大压强为27 MPa,而试验用试块压机WAW-600G天辰万能试验机,试验最大压强为20 Mpa,而高压强压力有利于砖坯形成高密实度,层裂少的砖坯,抗压抗折结果较为优异。

表4 蒸压灰砂砖技术标准

Table 4 Technical standard of autoclaved sand-lime brick

强度等级	抗压强度/MPa		抗折强度/MPa		抗冻性	
	平均值不小于	单块值不小于	平均值不小于	单块值不小于	抗压强度降低不超过/%	单块砖质量损失率不大于/%
25	25	20	5	4.0	25	2
20	20	16	4	3.2	25	2
15	15	12	3.3	2.6	25	2
10	10	8	2.5	2.0	25	2

注:优等品的强度级别不得小于MU15

表5 试块测试结果

Table 5 Test results of specimen

序号	抗压强度/MPa		抗折强度/MPa		抗冻性	
	平均值	最小值	平均值	最小值	抗压强度损失率%	单块砖质量损失率%
1	13.77	13.12	3.0	2.6	6	0
2	16.11	14.58	3.7	2.9	6	0
3	21.03	16.63	4.1	3.3	7	0.5

表 6 蒸压灰砂砖检测结果

Table 6 Detection results of autoclaved sand-lime brick

类别	抗压强度/MPa		抗折强度/MPa		抗冻性	
	平均值	最小值	平均值	最小值	抗压强度损失率%	单块砖质量损失率%
MU25 国标	25	20	5	4.0	25	2
实测	26.4	22.4	5.3	4.3	16	1.0

3 结 论

(1)影响蒸压灰砂砖因素众多,关键因素包括尾砂粒级配比、石灰消化充分、混料充分、压制砖坯压力、蒸压时间、蒸压压强、成型水分含量等,需根据原材料性能变化及时调整各项技术参数,以便生产出性能优异的产品。

(2)迁安地区某铁矿选厂尾矿符合蒸压灰砂砖的原料要求,经过适当配比,可以生产蒸压灰砂砖。从目前试验情况来看,铁矿尾矿在原料干料配比中平均可达 86% 以上,蒸压灰砂砖抗压抗折强度达 MU25,性能较好。

(3)在蒸压砖每块 2.6~2.8 kg,尾矿占 80% 的条件下,以年产 1 亿块砖生产线为例进行计算,每年可消耗铁矿尾矿 20.8~22.4 万 t,这不仅利于企业延长尾矿库使用年限,还可创造额外经济收入。

(4)综合利用尾矿资源,使之变废为宝,对于节约资源、改善环境、提高效益,实现矿业可持续发展,具有十分重要的意义。

参考文献:

[1]王晓雷,陈超,甘德清,等.唐山地区铁尾矿综合利用及产业化研究[J].矿业研究与开发,2011,31(2):44-47.

[2]黄华大,袁静.我国蒸压砖的发展现状、存在问题及解决措施[J].新型建筑材料,2009(10):47-49.

[3]李从典.我国蒸压砖发展现状和前景[J].新型墙材,2010(1):38-41.

[4]JC/T 622—2009,硅酸盐建筑制品用砂[S].2009.

[5]张建营.影响蒸压砖抗压强度的工艺因素[J].砖瓦世界,2013(7):32-35.

[6]邓景明,唐怀志.低硅铜铁尾矿生产蒸压砖的技术研究[J].砖瓦,2013(1):9-12.

[7]王立久.建筑材料工艺原理[M].北京:中国建材工业出版社,2006.

[8]张建营.尾矿渣蒸压砖生产工艺研究[J].砖瓦,2012(11):14-17.

[9]Li Hao,Zhao Fengqing,Li Qian,et al. Autoclaved brick from semi-dry desulfuration ash[J]. Advanced Materials Research,2010,217-218:846-851.

[10]朱军章.粉煤灰蒸压砖质量影响因素分析[J].砖瓦,2013(2):23-24.

[11]李鹏冠,赵风清.钢渣-尾矿蒸压砖的生产工艺参数研究[J].环境科学与技术,2016,39(4):102-106.

[12]王建议,朱若君,宋美,等.蒸压石英尾渣砖的制备及性能研究[J].砖瓦世界,2015(12):43-46.

[13]GB 11945-2006,蒸压灰砂砖[S].2006.

Experimental Study on Preparation of Autoclaved Sand-lime Brick with Iron Tailings

Zhang Danping, Guo Qian, Guo Jujie

(Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing, China)

Abstract: Based on the analysis of the properties of iron tailings and the existing mature technology, condition test was conducted on the different ratio by using tailings of Qian'an iron ore concentration plant as the main raw material and adding lime, retarding agent, regulator. When the ratio of water:solid was 0.09, the ratio of iron tailings:lime:retarding agent:regulator was 80:8:3:9, forming pressure was 25 MPa, steam pressure was 1.3 MPa, rising temperature was 150 min, constant temperature was 360min and cooling temperature was 120 min, autoclaved sand-lime brick with average compressive strength of 26.4 MPa and average flexural strength of 5.3 MPa was made, whose technology index was up to the requirements of MU25 in nation standard GB 11945-2006 "autoclaved sand-lime brick". The comprehensive utilization of iron tailings was realized and enterprise economic benefit and social benefit were increased.

Keywords: Iron ore; Tailings; Autoclaved sand-lime brick